神经振荡视角下的第二语言听觉感知与理解*

朱诗瑶　陆灵犀

（北京语言大学语言认知科学学科创新引智基地，北京，100083）

摘要：对第二语言学习者来说，像母语者一样快速而准确地加工语言充满挑战。随着近年来高时间分辨率的神经电生理技术（脑电/磁图）的发展，神经振荡现象为第二语言加工的神经机制提供了新的研究视角。本文针对二语学习者言语感知和理解的神经振荡现象进行了文献梳理，结果显示：第一语言和第一语言追踪强度的关系可能会因不同的研究方法和实验设计而得出不同的结论；双语背景尤其是熟练度是影响二语学习者言语感知和理解中神经振荡现象的主要因素；作为二语者语言使用中的常见现象，语言转换会带来更大的认知负荷，在神经层面表现为 δ 和 θ 振荡功率的改变。

关键词：　二语习得；言语加工；神经振荡；脑电/磁图

分类号：　B842

1. 引言

在当今经济、文化高度连结的全球化时代，掌握多种语言显得尤为重要。在中国，有超过 4 亿人将英语作为第二语言（second language，L2）（Wei et al.，2012）。通常情况下，二语学习者很难像母语者一样快速而准确地加工语言（Juffs & Harrington, 1995），尤其是在有噪声干扰的复杂听觉场景中，二语学习者相较于母语者的语言加工弱势更为明显（Cooke et al., 2008）。

在传统的神经语言学研究中，对语言加工引起的脑电事件相关电位（event-related potential，ERP）研究在过去几十年中占据了主导地位（Steinhauer et al.，2008；Luck & Kappenman，2011）。近年来，具备高时空分辨率的脑磁图（magnetoencephalography，MEG）记录手段和时间相关磁场（event-related magnetic field，ERF）研究也逐渐在语言加工中得到应用（盛经纬&高家红，2021）。

---

* 基金项目：　北京市社会科学基金项目（21YYC010）
通讯作者，陆灵犀，E-mail: lingxilu@blcu.edu.cn

收稿日期：2024 年 12 月 24 日

与事件相关电位/磁场研究仅关注语言脑活动在时间维度上的变化不同，神经震荡（neural oscillation）关注研究大脑神经元集群节律性、同步性、持续性的活动 （Buzsáki et al，2012）。当大脑内部的神经节律受外部刺激的影响，神经活动与外部刺激的准节奏相位和振幅调制的耦合，产生名为神经夹带（neural entrainment）的现象（Obleser & Kayser，2019）。当外部刺激为连续语音流时，神经夹带的发生通常意味着更好的言语理解表现（Vanthornhout et al.，2018）。近年来，对神经振荡现象的研究为理解 L2 言语加工的神经机制提供了一个崭新视角。

本研究系统地梳理 L2 听觉感知和理解中的神经振荡研究，总结对大脑加工 L2 听觉言语过程的影响因素及其背后的神经相关物。主要从以下几方面展开：（1）不同的振荡频段及其在言语加工中的作用；（2）二语学习者对第一语言（first language，L1）和 L2 追踪强度的关系；（3）影响 L2 听觉理解和感知中神经振荡现象的因素；（4）语言转换中的神经振荡现象；（5）本领域在神经层面的不足和未来的研究方向。

2. 不同的振荡频段及其在言语加工中的作用

研究者通过脑电图或脑磁图捕捉大脑处理语音流时的动态神经信号后，通过傅立叶变换转换为频域信号，主要关注五个频段，即 δ（1- 4 Hz）、θ（4-8 Hz）、α（8-12 Hz）、β（13-30 Hz）和 γ（30-150 Hz）频段（Greischar & Davidson，2010）。语言处理的不同方面可以表征为不同频段的神经振荡活动模式。例如，δ 波段被认为与单词、句法结构和韵律线索的编码密切相关（Ghitza，2017；Meyer et al.，2017，2020a；Keitel et al.，2018；Teoh et al.，2019；Rimmele et al.，2021），θ 振荡与词汇语义提取有关（Bastiaansen &Hagoort，2003），β 振荡与句法加工有关（Bastiaansen & Hagoort，2006），而 γ 振荡和语义结构的构建有关（Bastiaansen & Hagoort，2006）。

在听觉言语加工中，不同频段的神经振荡能够表征言语刺激中不同时间尺度的层级信息，通过相互协调对这些信息进行整合处理，完成听觉言语理解（Kayser et al.，2015）。对自然言语流的神经夹带研究发现，不同频带的神经活动倾向于夹带到不同的语言单位：γ 波段的神经活动往往对应于音素变化（Giraud & Poeppel，2012；Zion Golumbic et al.，2013；Nourski et al.，2015；Meyer，2018 ），θ 波段的活动倾向于夹带音节呈现的速率（Luo & Poeppel，2007；Peelle et al.，2013；Meyer，2018），δ 波段的活动倾向于夹带到语音流更宽声学包络中的调制（Bourguignon et al.，2013；Gross et al.，2013；Meyer，2018）。

语音的皮层追踪（cortical tracking）指的是时间语音包络（speech envelop）和皮层活动之间的相位耦合。对母语者而言，大脑在不同时间尺度的神经活动能够同时追踪不同层次的抽象语言结构，如单词、短语和句子（Ding et al. 2016）。Ding et al.（2016）的研究采用了一种频率标记方法，使汉语语音刺激的单词、短语和句子结构分别按照固定的目标频率 4 Hz、2 Hz 和 1 Hz 进行呈现，结果发现汉语母语者的神经信号能够跟踪目标频率，而不具备汉语知识的听者则无法跟踪短语和句子结构。随后，Getz et al.（2018）采用类似实验范式，要求成人被试学习一种人工设计的微型语言（Thompson & Newport，2007），发现当被试学习了目标刺激中的一些类似语言的短语结构分布线索后，能够观察到对短语频率的跟踪。由于声学信号中没有关于短语边界的提示，这种跟踪必须反映出对句子短语结构的抽象知识。上述研究表明，成功的语言理解与抽象结构的内部表征有关，并且这一加工过程能够通过周期性神经振荡现象所捕获。

3. 母语和二语皮层追踪强度的关系

与先前的研究成果一致（Song et al.，2018），Song et al.（2020）发现，二语学习者的言语理解能力总体上较差，但对语音包络的神经响应比母语者更强，表明他们对声音的关注度更高，以补偿他们在 L2 语音感知方面的困难。与 Song et al.（2020）的结果相似，Reetzke et al.（2021）发现，与母语者相比，二语学习者表现出较低的语音理解准确性和增强的语音包络神经追踪。这些研究结果支持了一个新的观点，即尽管对目标语音信号的注意增强了语音包络的神经跟踪，但这种机制本身可能不会赋予语音理解优势（Reetzke et al.，2021）。

然而，不同于上述研究结果（Song et al.，2018，2020；Reetzke，2020），Zinszer et al（2022）发现，对 L1 的追踪在噪声水平下显著升高，对 L2 的追踪在噪声条件和非噪声条件下没有显著差异，且对 L2 的神经追踪弱于对 L1 的追踪。这种结果上的差异可能是由不同的实验设计造成的：Zinszer et al.（2022）采用被试内设计，Song et al.（2018）采取被试间设计，二语学习者是沉浸在二语环境中的，相较于被试内设计中的二语学习者具有更高的二语水平。

除此以外，不同的研究方法也会带来结果的不同，与 Zinszer et al.（2022）着眼于神经振荡的视角不同，Song et al.（2018）和 Reetzke et al.（2021）采用的是多元时间响应函数（Multivariate Temporal Response Function，mTRF）的方法。

4. 影响二语理解与感知中神经振荡现象的因素

根据目前的研究成果，双语背景尤其是熟练度是影响 L2 听觉理解和感知的主要因素。此外，在复杂听觉场景下，噪声类型也会对 L2 听觉理解和感知带来影响，从而在神经振荡的层面表现出来。鉴于此，本研究从双语背景和噪声类型两方面探讨 L2 理解与感知中的神经振荡现象。

4.1 双语背景对 L2 理解和感知中神经振荡的影响

4.1.1 安静环境下双语背景对神经振荡的影响

Lizarazu et al.（2021） 使用 MEG 技术，研究熟练度对二语学习者皮层追踪的影响，发现 L2 的学习增加了 δ 和 θ 频段的语音皮层追踪。δ 和 θ 频段分别对应于短语和音节的频率，对音节的预测能够增加听觉皮层中持续的 θ 波段振荡，听众越精通目标语言，预测音节的能力越强，θ 频段的振荡功率越强。

关于熟练度对二语学习者神经振荡的影响，还有研究者关注其他的振荡频段。例如，α 频段的振荡与上额叶皮层介导的刺激前主动控制有关（Freynberger et al.，2008；Suzuki et al.，2018）。Pereira et al.（2022）研究了双语背景如何影响 L2 理解中的振荡动力学，发现早期双语者和晚期双语者 α 和 θ 频段的振荡功率没有显著差别，但这不能说明熟练度对二语学习者的神经振荡现象没有影响。有研究认为，如果没有单语者和二语初学者作为对比，很难分辨以下两种可能：（1）处于任何发展阶段的二语学习者在神经振荡现象上都没有差异；（2）这种差异确实存在，但当且仅当二语学习者的二语水平处于特定的阈值下。可见，关于熟练度如何调控二语学习者不同频段的神经振荡仍然存在争议，这种差异可能来源于不同的振荡频段，但即便是同一频段，研究结果也不尽相同。

4.1.2 噪声场景下双语背景对神经振荡的影响

先前的研究结果显示，识别噪声中 L2 的障碍主要来源于对这种语言的词汇或语法信息获取不足（Hahne & Friederici，2001）。这种障碍可能是由噪声和熟练度对解析句法结构的干扰造成的，即噪声影响了音节层面的神经夹带，而熟练度对短语层面的神经夹带造成了一定影响（Blanco-Elorrieta et al.，2020）。

Blanco-Elorrieta et al.（2020）用 MEG 记录不同熟练度的汉英双语者在不同噪声水平下对音节和短语的追踪情况，发现对音节的追踪只受到噪声的影响，且随噪声水平的增加而下降；对短语的追踪很大程度上取决于语言的熟练程度，熟练程度高的二语学习者对短语有更强的皮质夹带作用。与 Blanco-Elorrieta et al.（2020）的结果相反，Zinszer et al（2022）发现，在非噪声条件下，随着熟练度

的增加，对 L2 的追踪显著上升，在噪声条件下熟练度对 L2 追踪的强度没有显著影响。

关于熟练度的影响，有两种可能的解释：（1）在没有噪声的情况下，对 L2 的追踪随着熟练度的增加显著提高，在二语学习者接近母语水平时，对 L1 和 L2 的皮层追踪将增大；（2）熟练度和 L2 追踪之间的关系可能是倒 U 型曲线，这篇文章察到的是 U 型的左半边。但关于这种差异具体的解释还需要进一步的研究。

除熟练度以外，习得年龄也有可能对二语学习者噪声中言语理解和感知中的神经振荡现象产生影响。Wostmann et al. （2017） 发现，α 功率与自上而下的注意力控制有关，更大的 α 功率与语言理解所需的努力呈正相关。在此基础上，Grant et al.（2022）用 EEG 研究了习得年龄对二语学习者噪声下言语理解中 α 频段神经振荡的影响。发现，习得年龄的增加会导致 α 频段神经振荡功率的降低。然而，越晚的习得年龄通常代表越差的语言熟练度，因此无法排除更低的 α 功率是否是由较低的熟练度引起的，而非习得年龄。

4.2 噪声类型对 L2 理解与感知中神经振荡现象的影响

在噪声条件下识别连续的语流是日常生活中常见的情景。为了在多个声源中注意到一个特定的语音信号，听觉系统必须先从传入的信号中提取关键的声学特征，以便将目标语音信号与干扰信号区分开（Bregman，1994）。这个过程增加了语音感知的认知需求（Mattys et al.，2012），尤其是对二语学习者来说（Meador et al.，2000）。

传统的行为实验表明，噪声类型（Cooke et al.，2008；Brouwer et al.，2012；Kilman et al.，2014）和语境信息（Bradlow & Bent，2002；Shimizu et al.，2002，Aydelott & Bates，2004；Van Engen et al.，2010；Brouwer et al.，2012；Aydelott et al，2012），会对噪声中二语学习者的音素感知产生影响（Broersma & Scharenborg，2010；Cooke et al.，2010）。Kilman et al. （2014）比较了能量掩蔽和信息掩蔽两种掩蔽类型对二语学习者噪声中言语加工的影响，研究选择了四种噪声类型，分别是语音形状的噪声（speech-shaped noise），波动的噪声（fluctuating noise），瑞典语的多人混合噪声（babble noise）和英语的多人混合噪声（babble noise），发现信息掩蔽的情况下二语学习者的表现更差，说明相较于能量掩蔽，信息掩蔽更大程度上影响了二语学习者的言语加工过程，这可能是由于信息掩蔽增加了背景噪音中可理解信息的干扰。

关于噪声类型对二语学习者神经振荡的影响，Song et al.（2020）研究了单一说话者噪声和多人混合噪声如何影响母语者和二语学习者噪声中的言语感知。研

究结果显示，母语者在单一说话者噪声中的表现更佳，而在二语学习者中没有发现类似的效应，且二语学习者比母语者更容易受到噪音的不利影响。

5. 语言转换中的神经振荡现象

语言转换指的是多语者在交流中交替运用两种或者两种以上语言的现象（Grosjean，1982）。二语学习者经常在不同语言之间切换，以便用 L1 或 L2 成功表达他们的想法。相对于使用一种语言，语言转换可能会产生更高的错误率、更长的反应时或者诱发更强烈的脑电波幅等（Grainger ＆ Beauvillain，1987）。以往的行为实验探讨了双语者如何口头地在不同语言之间切换（Jackson et al.，2001；Gollan et al.，2014；Declerck et al.，2015； Peeters & Dijkstra，2017），或者探讨语言转换效应的影响因素，如熟练度（Costa et al.，2004），以及语言转换的非对称性(Peeters et al.，2014)，也有研究者提出双语者在言语理解时也需要转换语言并抑制来自非目标语言的干扰 (Costa & Santesteban，2004，Costa et al.，2006)。脑电 ERP 研究显示，N2 和 LPC（late positive component）是语言转换的相关信号（Liu et al., 2014, 2016；Kang et al.，2023）。神经振荡的相关研究则着眼于语言转换对言语感知和理解的影响（Xie et al.，2021；Pérez et al.，2019）。

Xie et al.（2021）通过分析诱发的振荡探索语言转换的控制机制。发现语言理解和产出表现出相似的 δ 和 θ 振荡，与 L2→L1 相比，L1→L2 后 θ 波段功率显著增加。关于二语学习者言语理解中的语言转换现象，Pérez et al.（2019）发现，当二语学习者听两种已知语言混合在一起的语音流时，δ 频率的振荡能力会降低，但在记忆回忆测试中没有显著的影响，转换方向不对称地影响 θ 波段功率。说明，处理语义信息时，语言间的转换对长信息流的回忆和提取可能没有可测量的影响，但语言转换带来的认知负荷会在神经层面上反映出来。总之，相较于使用一种语言，语言转换在语言的理解和产出过程中需要更大的认知负荷，在神经层面表现为 δ 和 θ 振荡功率的改变，且语言转换的方向也会对 δ 和 θ 波段的振荡带来一定的影响。

6. 结语

综上，关于 L1 和 L2 追踪强度的关系目前还没有确定的答案，这种差异可能是不同的研究视角和实验设计带来的；双语背景尤其是熟练度对二语学习者安静和噪声场景下的神经振荡现象都有影响，但研究结果依然存在差异，这种差异可能是由研究者关注的不同的频段，以及不同的研究方法和实验设计造成的；此外，作为二语者语言使用中的常见现象，语言转换现象需要募集更多的神经资源，在

神经层面表现为神经振荡频段的改变，且语言转换的方向不对称的影响 δ 和 θ 频段的神经振荡。

目前从神经振荡的视角出发，研究二语者听觉言语感知和理解神经机制的研究仍属少数，且主要集中在影响神经振荡的因素上。在未来的研究中，有必要关注熟练度对不同频段神经振荡的影响，尤其是在复杂的听力场景下；此外，行为实验显示，噪声类型，尤其是掩蔽类型会影响二语学习者噪声中的言语识别，在进一步的研究中，可以考察不同噪声类型对二语学习者神经振荡的影响。

参考文献

盛经纬&高家红.(2021).脑磁图仪的前世今生与未来.*物理*(07),463-469.

Aydelott, J. & Bates, E. (2004). Effects of acoustic distortion and semantic context on lexical access. *Language and Cognitive Processes*, 19, 29-56.

Aydelott, J., Baer-Henney, D., Trzaskowski, M., Leech, R., & Dick, F. (2012). Sentence comprehension in competing speech: Dichotic sentence word priming reveals hemispheric differences in auditory semantic processing. *Language and Cognitive Processes*, 27(7-8), 1108-1144.

Bastiaansen, M, Van Berkum, JJ and Hagoort, P (2003) Syntactic processing modulates the θ rhythm of the human EEG. *NeuroImage* 17, 1479–1492.

Bastiaansen, M and Hagoort, P (2006) Oscillatory neuronal dynamics during language comprehension. *Progress in Brain Research* 159, 179–196.

Bastiaansen, M, Magyari, L and Hagoort, P (2010) Syntactic unification operations are reflected in oscillatory dynamics during on-line sentence comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience* 22, 1333–134

Bastiaansen, M, Mazaheri, A and Jensen, O (2012) *Beyond ERPs: Oscillatory neuronal dynamics The Oxford handbook of event-related potential components*. New York, NY, US: Oxford University Press, pp. 31–49.

Blanco-Elorrieta, Esti, Nai Ding, Liina Pylkkänen & David Poeppel.2020 Understanding Requires Tracking: Noise and Knowledge Interact in Bilingual Comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience* 32: 1975-83.

Bradlow, A. R., & Bent, T. (2002). The clear speech effect for non-native listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 112(1), 272-284.

Bregman, A. S. 1994. Auditory scene analysis: *The perceptual organization of sound*. MIT Press.

Broersma, M., & Scharenborg, O. (2010). Native and non-native listeners' perception of English consonants in different types of noise. *Speech Communication*, 52, 980-995.

Brouwer, S., Van Engen, K. J., Calandruccio, L., & Bradlow, A. R. (2012). Linguistic contributions to speech-on-speech masking for native and non-native listeners: Language familiarity and semantic content. *Journal of the Acoustical Society of America*, 131(2), 1449-1464.

Buzsáki, G., Anastassiou, C. A., & Koch, C. (2012). The origin of extracellular fields and currents-EEG, ECoG, LFP and spikes. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(6), 407-420.

Cooke, M., Garcia Lecumberri, M. L., & Barker, J. (2008). The foreign language cocktail party problem: Energetic and informational masking effects in non-native speech perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(1), 414–427.

Cooke, M., García Lecumberri, M. L., Scharenborg, O., & van Dommelen, W. (2010). Language-independent processing in speech perception: A study of English consonant identification in 8 European languages. *Speech Communication*, 52, 954-967.

Costa, A., & Santesteban, M. (2004). Lexical access in bilingual speech production: Evidence from language switching in highly proficient bilinguals and L2 learners. *Journal of Memory and Language*, 50, 491–511.

Crosse, M. J., Di Liberto, G. M., Bednar, A., & Lalor, E. C. (2016). The Multivariate Temporal Response Function (mTRF) Toolbox: A MATLAB Toolbox for Relating Neural Signals to Continuous Stimuli. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10.

Ding, N., Simon, J.Z., 2012. Emergence of neural encoding of auditory objects while listening to competing speakers. *Proc. Natl. Acad. Sci.* U. S. A. 109

Ding, N., Simon, J.Z., 2013. Adaptive temporal encoding leads to a backgroundinsensitive cortical representation of speech. J. *Neurosci*. 33 12.2013.

Ding, N., Simon, J.Z., 2014. Cortical entrainment to continuous speech: functional roles and interpretations. Front. Hum. *Neurosci*. 8

Doelling KB, Arnal LH, Ghitza O, & Poeppel D (2014). Acoustic landmarks drive delta–theta oscillations to enable speech comprehension by facilitating perceptual parsing. *Neuroimage*, 85, 761–768.

Getz et al. Cortical Tracking of Constituent Structure in Language Acquisition. *Cognition* 181, 2018: 135–40.

Grant, Angela M., Shanna Kousaie, Kristina Coulter, Annie C. Gilbert, Shari R. Baum, Vincent Gracco, Debra Titone, Denise KleinNatalie A. Phillips.2022, Age of Acquisition Modulates

Alpha Power During Bilingual Speech Comprehension in Noise. *Frontiers in Psychology* 13: 865857.

Gross, J., Hoogenboom, N., Thut, G., Schyns, P., Panzeri, S., Belin, P., Garrod, S., 2013. Speech rhythms and multiplexed oscillatory sensory coding in the human brain. *PLoS Biol*. 11 (12)

Juffs, A., & Harrington, M. (1995). Parsing Effects in Second Language Sentence Processing: Subject and Object Asymmetries in wh-Extraction. Studies in Second Language Acquisition, 17(4), 483–516.

Hahne, A., & Friederici, A. D. (2001). Processing a second language: Late learners' comprehension mechanisms as revealed by event-related brain potentials. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4(2), 123–141.

Kayser, C., Wilson, C., Safaai, H., Sakata, S., & Panzeri, S. (2015). Rhythmic auditory cortex activity at multiple timescales shapes stimulus-response gain and background firing. *Journal of Neuroscience*, 35(20), 7750−7762.

Kayser, C. (2019). Evidence for the rhythmic perceptual sampling of auditory scenes. *Frontiers in Human Neuroscience* 13.

Kilman, L., Zekveld, A., Hällgren, M., & Rönnberg1, J. (2014). The influence of non-native language proficiency on speech perception performance. *Frontiers in Psychology*, 5.

Li, Zhuoran, Bo Hong, Daifa Wang, Guido Nolte, Andreas K Engel & Dan Zhang. 2022, Speaker–Listener Neural Coupling Reveals a Right-Lateralized Mechanism for Non-Native Speech-in-Noise Comprehension. *Cerebral Cortex*, bhac302.

Luck, SJ and Kappenman, ES (Eds.). (2011) *The Oxford handbook of event-related potential components*. Oxford university press.

Luo, H., Poeppel, D., 2007. Phase patterns of neuronal responses reliably discriminate speech in human auditory cortex. *Neuron* 54.

Mattys, S. L., Davis, M. H., Bradlow, A. R., & Scott, S. K. (2012). Speech recognition in adverse conditions: A review. *Language and Cognitive Processes*, 27(7-8), 953-978.

Meador, D., Flege, J. E., & Mackay, I. R. A. (2000). Factors affecting the recognition of words in a second language. *Bilingualism: Language and Cognition*, 3(1), 55–67.

Meyer, L., 2018. The neural oscillations of speech processing and language comprehension: state of the art and emerging mechanisms. Eur. J. *Neurosci*. 48 (7), 2609–2621.

Obleser, J., Kayser, C., 2019. Neural entrainment and attentional selection in the listening brain. *Trends Cogn. Sci*. 23 (11), 913-926.

Peeters, D., Runnqvist, E., Bertrand, D., & Grainger, J. (2014). Asymmetrical switch costs in bilingual language production induced by reading words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(1), 284–292.

Peelle, J.E., Davis, M.H., 2012. Neural oscillations carry speech rhythm through to comprehension. *Front. Psychol.* 3

Peelle, J.E., Gross, J., Davis, M.H., 2013. Phase-locked responses to speech in human auditory cortex are enhanced during comprehension. *Cereb. Cortex* 23 (6), 1378–1387.

Pereira Soares, S. M., Prystauka, Y., DeLuca, V., & Rothman, J. (2022). Type of bilingualism conditions individual differences in the oscillatory dynamics of inhibitory control. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 910910.

Pérez, A., & Duñabeitia, J. A. (2019). Speech perception in bilingual contexts: Neuropsychological impact of mixing languages at the inter-sentential level. *Journal of Neurolinguistics*, 51, 258–267.

Reetzke, et al. Neural Tracking of the Speech Envelope Is Differentially Modulated by Attention and Language Experience. *Brain and Language* 213, 202: 104891.

Shimizu, T., Makishima, K., Yoshida, M., & Yamagishi, H. (2002). Effect of background noise on perception of English speech for Japanese listeners. *Auris Nasus Larynx*, 29(2), 121- 125.

Shannon, R. V., Zeng, F.-G., Kamath, V., Wygonski, J., and Ekelid, M. 1995.Speech Recognition with Primarily Temporal Cues, *Science*, 270, 303–304.

Steinhauer, K, Connolly, JF, Stemmer, B and Whitaker, HA (2008) Event-related potentials in the study of language. In HA Whitaker (Ed.), *Concise Encyclopedia of Brain and Language*,91–104. Elsevier.

Van Engen, K. J. (2010). Similarity and familiarity: Second language sentence recognition in first- and second-language multi-talker babble. *Speech Communication*, 52(11-12), 943- 953.

Vanthornhout, J., Decruy, L., Wouters, J., Simon, J. Z., & Francart, T. 2018. Speech intelligibility predicted from neural entrainment of the speech envelope. *Jaro-Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 19(2), 181-191.

Wei, R., & Su, J. (2012). The statistics of English in China. *English Today*, 28, 10–14.

Wöstmann, M., Lim, S.-J., & Obleser, J. (2017). The Human Neural Alpha Response to Speech is a Proxy of Attentional Control. *Cerebral Cortex*, 27(6), 3307–3317.

Xie et al. Role of Top-down Language Control in Bilingual Production and Comprehension: Evidence from Induced Oscillations. *International Journal of Bilingualism* 23, 2019: 1041–63.

Zinszer, Benjamin D., Qiming Yuan, Zhaoqi Zhang, Bharath Chandrasekaran & Taomei Guo.2022, Continuous Speech Tracking in Bilinguals Reflects Adaptation to Both Language and Noise. *Brain and Language* 230, 105128.

Zion Golumbic, E.M., Ding, N., Bickel, S., Lakatos, P., Schevon, C.A., McKhann, G.M., Goodman, R.R., Emerson, R., Mehta, A.D., Simon, J.Z., Poeppel, D., Schroeder, C.E., 2013. Mechanisms underlying selective neuronal tracking of attended speech at a 'cocktail party'. *Neuron* 77 (5), 980–991.

Second Language Auditory Perception and Comprehension from the Perspective of Neural Oscillations

Abstract For second language learners, processing language as quickly and accurately as native speakers poses a significant challenge. With the recent advancements in high-temporal-resolution neurophysiological techniques (EEG/MEG), neural oscillations offer a new research perspective on the neural mechanisms of second language processing. This review examines the neural oscillatory phenomena related to speech perception and comprehension in second language learners. Findings suggest that the relationship between the first language and the tracking intensity of the first language may yield different conclusions due to varying research methods and experimental designs. Bilingual background, particularly proficiency, emerges as a key factor influencing neural oscillations in speech perception and comprehension for second language learners. Language switching, a common occurrence in bilingual language use, imposes greater cognitive load, manifesting as alterations in δ and θ oscillatory power at the neural level.

Keywords Second language acquisition; language processing; neural oscillations; M/EEG